

Beschreibung

System und Verfahren zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur im Brennraum eines Verbrennungsmotors

5

Die Erfindung betrifft ein System zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors, mit einer Verdichtungseinrichtung zum Verdichten von angesaugter Frischluft, die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, sowie Expansionsmitteln, die eine Expansion der verdichteten angesaugten Frischluft bewirken, wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist.

10

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum eines Verbrennungsmotors, insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors, bei dem angesaugte Frischluft,

15

die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, verdichtet wird, und die verdichtete angesaugte Frischluft expandiert wird, wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist.

20

25 Im Zusammenhang mit Benzin-Direkteinspritzsystemen sind unterschiedliche Betriebsbedingungen bekannt. Diesen ist gemeinsam, dass eine Direkteinspritzung von Kraftstoff unter Hochdruck direkt in einen Brennraum erfolgt. Die Gemischbildung erfolgt dann innerhalb des Brennraums. Herkömmlich unterscheidet man die Betriebsarten Homogenbetrieb und Schicht-

30

beziehungsweise Magerbetrieb. Beim Homogenbetrieb liegt ein homogen über den gesamten Brennraum verteiltes Gemisch vor. Beim Schicht- beziehungsweise Magerbetrieb liegt nur im Bereich der Zündkerze ein Gemisch mit einer Luftzahl $\lambda \leq 1$ vor.

35

Das verbleibende Volumen des Brennraums ist mit angesaugter Frischluft, einem Inertgas aus der Abgasrückführung oder ei-

nem sehr mageren Luft-Kraftstoff-Gemisch gefüllt, so dass sich insgesamt eine Luftzahl von $\lambda > 1$ ergibt.

Neben diesen herkömmlichen Betriebsarten wird vermehrt eine
5 weitere Betriebsart als erfolgversprechend eingeschätzt, die dem Betrieb des selbstzündenden Dieselmotors ähnelt. Diese ist als HCCI-Betriebsart (Homogeneous Charge Compression Ignition) bekannt und stellt ein selbstzündendes Brennverfahren dar, bei dem der Zündzeitpunkt und damit der Verbrennungsverlauf über die reaktive Energiemenge im Zylinder gesteuert wird. Um ein ausreichendes Energieniveau bereitzustellen, bedient man sich üblicherweise einer Abgasrückführung über externe Stellmittel im Rahmen einer externen Abgasrückführung oder durch eine geeignete Gaswechselventilsteuerung im Rahmen einer internen Abgasrückführung.
10
15

Bei der Einstellung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum über die Abgasrückführrate ist jedoch zu berücksichtigen, dass dies nur innerhalb bestimmter Grenzen erfolgen kann. Da die Abgasrückführrate nicht nur das
20 Temperaturniveau im Brennraum sondern auch das Mischungsverhältnis von Luft, Kraftstoff und Abgas beeinflusst, ist es unter Umständen nicht möglich, die Abgasrückführrate sowohl im Hinblick auf die Temperatur im Brennraum als auch im Hinblick auf das genannte Mischungsverhältnis optimal zu wählen.
25 Somit können Kompromisse bei der Einstellung der Abgasrückführrate erforderlich werden, um einen zuverlässigen Betrieb des Verbrennungsmotors sicherzustellen.

30 Im Zusammenhang mit herkömmlich gezündeten Verbrennungsmotoren wurde bereits vorgeschlagen, eine gekühlte Abgasrückführung zu verwenden, wobei diese Kühlung des Abgases insbesondere auf eine Reduzierung der Stickoxidemissionen abzielte. Hierzu wird beispielsweise auf MTZ Motortechnische Zeitschrift 60 (1999) 7/8, Seite 470 ff. verwiesen: "Einhaltung zukünftiger Emissionsvorschriften durch gekühlte Abgasrückführung" von Karl-Heinrich Lösing und Rainer Lutz.
35

- Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile des Standes der Technik zu beseitigen und insbesondere ein System und ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, durch die die
- 5 Einstellung der Temperatur im Brennraum des Verbrennungsmotors zumindest teilweise von der Einstellung des optimalen Mischungsverhältnisses von Luft, Kraftstoff und Abgas entkoppelt werden kann.
- 10 Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

- 15 Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen System dadurch auf, dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum gezielt eingesetzt wird. Auf diese Weise kann das Energieniveau im Brennraum durch Temperaturerhöhung beziehungsweise Temperaturregelung der Frischgastemperatur sehr fein variiert und eingestellt werden. Somit kann der Verbrennungsprozess im HCCI-Modus genau kontrolliert werden. Das Temperaturniveau im Brennraum kann dabei über den Verdichtungsgrad und die anschließende Expansion beeinflusst werden.

- 30 Das erfindungsgemäße System ist in besonders nützlicher Weise dadurch weitergebildet, dass eine Abgasrückführungseinrichtung zum Zuführen von Abgas eines früheren Verbrennungszyklus zu Frischluft beziehungsweise zu einem Frischluft aufweisenden Gemisch vorgesehen ist, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen. Neben der Beeinflussung des Temperaturniveaus durch Verdichtung und Expansion kann somit zusätzlich die Abgasrückführung und dabei

insbesondere die Abgasrückführrate gezielt zur Einstellung des Energieniveaus im Brennraum eingesetzt werden.

Das erfindungsgemäße System ist insbesondere dann nützlich 5 einsetzbar, wenn die Verdichtungseinrichtung ein Abgasturbolader ist. Dabei handelt es sich um eine häufig verwendete Vorrichtung zur Erhöhung der Gasdichte im Ansaugsystem, so dass im Brennraum eine erhöhte Luftmenge bereitgestellt werden kann, was zu einer Leistungserhöhung des Verbrennungsmotors führt. Angetrieben wird die Verdichtungseinrichtung 10 durch eine im Abgasstrom liegende Turbine.

Ebenso ist das System nützlich einsetzbar, wenn die Verdichtungseinrichtung ein Kompressor ist. Dieser dient ebenfalls 15 zur Verdichtung des Gasdrucks im Ansaugsystem, wobei die Antriebsenergie mechanisch vom Verbrennungsmotor zur Verfügung gestellt wird. Alternativ hierzu kann der Kompressor auch mittels elektrischer Energie angetrieben werden.

20 Nützlicherweise ist vorgesehen, dass die Expansion an einer Drosselklappe erfolgt. Bei Direkteinspritzsystemen dient die Drosselklappe dem dosierten Zuführen von Frischluft, wobei durch die Drosselwirkung eine Verringerung des Druckes erfolgt. Letztlich weist die im Abgasturbolader oder im Kompressor 25 verdichtete und an der Drosselklappe expandierte Luft gemäß thermodynamischer Grundregeln eine höhere Temperatur auf als die ursprünglich angesaugte Frischluft.

Die Erfindung ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch 30 weitergebildet, dass ein Temperatursensor zum Erfassen der Temperatur T_2 in Strömungsrichtung des Frischgases stromab den Expansionsmitteln angeordnet ist, so dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggasttemperatur berücksichtigt werden kann. Die Temperatur der Frischluft stromab der Drosselklappe 35 ist somit eine wichtige Eingangsgröße, um letztlich das Energieniveau im Brennraum für die HCCI-Betriebsart vorteilhaft festzulegen.

Im Zusammenhang mit einem mit Abgasrückführung ausgestatteten System erweist es sich als besonders nützlich, dass mindestens ein als Abgaskühler wirkender Wärmetauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeführten Abgases vorgesehen ist und dass ein Kühlmittelstellventil vorgesehen ist, so dass durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggasttemperatur eingestellt beziehungsweise geregelt werden kann. Die zurückgeführte Abgasmenge ist daher nicht mehr zwingend an die mit der Abgasrückführung erreichte Temperaturerhöhung im Brennraum gekoppelt. Vielmehr lässt sich über die einstellbare Abgaskühlung der Energieinhalt im Brennraum in gewissen Grenzen unabhängig von der Abgasrückführrate einstellen. So mit können sowohl das Mischungsverhältnis und das Energieniveau im Brennraum optimal eingestellt werden.

Das erfindungsgemäße System ist in vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass der Abgaskühler in einem separaten Wärmetauscherkreis angeordnet ist. Der Abgaskühler kann somit autark ohne Beeinflussung durch andere Komponenten des Kraftfahrzeugs arbeiten. Ebenso findet keine Beeinflussung anderer Komponenten des Kühlsystems des Fahrzeugs durch den Abgaskühler statt. Der autarke Kühlkreislauf umfasst dann einen separaten Kühler und eine separate Kühlmittelpumpe.

Es kann aber auch nützlich sein, dass der Abgaskühler in einem Motorkühlmittelkreis angeordnet ist. Auf diese Weise können Komponenten des Motorkühlmittelkreises für die Abgaskühlung genutzt werden, so dass insgesamt ein effizientes System realisiert wird.

Ebenso kann vorgesehen sein, dass der Abgaskühler als Motorbeziehungsweise Getriebeölwärmetauscher ausgelegt ist. Auch hierdurch können bestehende Komponenten des Fahrzeugs mitgenutzt werden.

Die Erfindung ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermittelten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet sind:

- Abgastemperatur,
 - zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
 - Frischgastemperatur,
 - 10 - Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
 - Ansauggastemperatur,
 - Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,
 - Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungs-
 - 15 weise Öls und
 - Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.
- 20 Wenn nachfolgend der Begriff "Menge" verwendet wird, kann auch eine "Massee" gemeint sein und umgekehrt. Die aktuelle Abgastemperatur und die zurückgeführte Abgasmenge sind in modernen Motorsteuerungen als Motorbetriebsgrößen bekannt. Sie können entweder modelltechnisch errechnet oder über entsprechende Sensoren direkt gemessen werden. Ebenso verhält es sich mit der Frischgasmenge und der Frischgastemperatur. Die Kühlmitteltemperaturen und die Öltemperaturen sind ebenfalls bekannt. Ist ferner die Kühlmittelmenge beziehungsweise die Ölmenge bekannt, die durch den Abgaswärmetauscher strömt,
- 25 30 können in Kenntnis der Wärmetauschercharakteristik die Abgas-temperatur am Wärmetauschaustritt und damit die Mischtempe-ratur der Ansaugluft bestimmt werden.
- Als besonders nützlich hat es sich erwiesen, dass ein Tem-pe-
35 ratursensor zum Erfassen der Frischgastemperatur, ein Tem-pe-
ratursensor zum Erfassen der Abgastemperatur am Motoraus-tritt, eine Luftmassen- beziehungsweise -mengenmessein-

richtung zum Erfassen der Frischgasmasse beziehungsweise -menge und eine Abgasmassen- beziehungsweise -mengenmesseinrichtung zum Erfassen der Abgasmasse beziehungsweise -menge vorgesehen sind. Aus diesen Größen lassen sich in Kenntnis
 5 bestimmter Modelle beziehungsweise bestimmter Charakteristiken die wesentlichen Größen für eine zuverlässige Regelung der Ansauggasttemperatur bestimmen.

So ist das System in nützlicher Weise dadurch weitergebildet,
 10 dass die Ansauggasttemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

berechnet wird, wobei

15

- \dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
- \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
- T_{FG} : Frischgasttemperatur
- T_{AG} : Abgasttemperatur
- 20 T_{ASG} : Ansauggasttemperatur
- $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
- $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

Die Ansauggasttemperatur kann somit in Kenntnis von gemessenen, bekannten beziehungsweise ebenfalls bereits modelltechnisch berechneten Größen ermittelt werden.
 25

In diesem Zusammenhang ist es nützlich, dass die Abgastemperatur am Wärmetauscherausgang unter Verwendung des folgenden
 30 Gleichungssystems berechnet wird:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{WT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

35

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

- 5 \dot{Q} : Wärmestrom
- KM : Kühlmittel
- AG : Abgas
- WT : Wärmetauscher
- c_p : Wärmekapazität
- 10 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
- A : Heizfläche des Wärmetauschers
- ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

Aus der Kenntnis der Charakteristik des Wärmetauschers, das
 15 heißt insbesondere in Kenntnis der Parameter k und A lässt sich unter Berücksichtigung der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz ΔT_m also der im Wärmetauscher vorliegende Wärmestrom \dot{Q}_{WT} errechnen. Hieraus ergibt sich in Kenntnis von Massenströmen, Wärmekapazitäten und weiteren Temperaturen
 20 die Abgastemperatur am Wärmetauscherausgang $T_{AG, AUS}$.

Die Erfindung baut auf dem gattungsgemäßen Verfahren dadurch auf, dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energie niveaus im Brennraum gezielt eingesetzt wird. Auf diese Weise werden die Vorteile und Besonderheiten des erfindungsgemäßen Systems auch im Rahmen eines Verfahrens umgesetzt.
 25 Dies gilt auch für die nachfolgend angegebenen besonders bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

30 Das Verfahren ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass Abgas eines früheren Verbrennungszyklus Frischluft beziehungsweise einem Frischluft aufweisenden Gemisch zugeführt wird, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein
 35 Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen.

Das Verfahren zeichnet sich besonders dann als vorteilhaft aus, wenn die Verdichtung durch einen Abgasturbolader erfolgt.

- 5 Gleichermaßen ist das Verfahren dann nützlich, wenn die Verdichtung durch einen Kompressor erfolgt.

Nützlicherweise ist weiterhin vorgesehen, dass die Expansion an einer Drosselklappe erfolgt.

10

Das Verfahren ist in besonders vorteilhafter Weise dadurch weitergebildet, dass die Temperatur T_2 nach der Expansion erfasst wird, so dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggasttemperatur berücksichtigt werden kann.

15

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des erfundungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass Abgas in einem als Abgaskühler wirkenden Wärmetauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeföhrten Abgases gekühlt wird und dass 20 durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler mittels eines Kühlmittelstellventils unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggasttemperatur eingestellt beziehungsweise geregelt wird.

25

Es ist besonders bevorzugt, dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermittelten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet sind:

- 30 - Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- Frischgastemperatur,
- Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggasttemperatur,
35 - Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,

10

- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls und
 - Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.
- 5

Als besonders nützlich hat es sich erwiesen, dass die Frischgastemperatur, die Abgastemperatur am Motoraustritt, die 10 Frischgasmasse beziehungsweise -menge und die Abgasmasse beziehungsweise -menge gemessen werden.

Das Verfahren ist in nützlicher Weise dadurch weitergebildet, dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

15

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

berechnet wird, wobei

- 20 \dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
 \dot{m}_{AG} : Abgasmassestrom
 T_{FG} : Frischgastemperatur
 T_{AG} : Abgastemperatur
 T_{ASG} : Ansauggastemperatur
 25 $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
 $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

In diesem Zusammenhang ist es nützlich, dass die Abgastemperatur am Wärmetauscherausgang unter Verwendung des folgenden 30 Gleichungssystems berechnet wird:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{WT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

35

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

11

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

- 5 \dot{Q} : Wärmestrom
 KM : Kühlmittel
 AG : Abgas
 WT : Wärmetauscher
 c_p : Wärmekapazität
 10 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
 A : Heizfläche des Wärmetauschers
 ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass durch die gezielte Beeinflussung beziehungsweise die gezielte Berücksichtigung der Frischgastemperatur das Energieniveau im Brennraum des Verbrennungsmotors sehr fein variiert und genau kontrolliert werden kann. Neben dem Prinzip der Abgasrückführung steht somit ein weiteres unabhängiges Instrument zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit zur Verbrennungsprozesskontrolle zur Verfügung. Die Erfindung bietet insbesondere den Vorteil, dass, ausgehend von Kaltstartbedingungen, unter denen ein HCCI-Betrieb aufgrund des zu niedrigen Temperaturniveaus nicht möglich ist, das Frischgas aufgeheizt und somit ein früheres Umschalten in den emissionsgünstigen HCCI-Modus möglich ist. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist es besonders nützlich, dass über die kontrollierte Einstellung der Abgastemperatur mittels Abgaskühlung neben der Abgasrückführrate und dem Prinzip von Verdichtung und Expansion eine weitere unabhängige Stellgröße zum Beeinflussen des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum zur Verfügung steht und damit ein zusätzliches Mittel zur Verbrennungsprozesskontrolle. Die Einflussnahme auf den Prozess erfolgt hinsichtlich des Entzündungszeitpunktes des komprimierten Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisches und der sich daraus ergebenden Folgegrößen, wie Druckverlauf und Verbrennung, Spitzendruck, Verbrennungsschwerpunkt und

- Verbrennungsgeschwindigkeit. Diese wiederum sind entscheidend verantwortlich für das gesamtmotorische Verhalten im Hinblick auf Wirkungsgrad, Emissionen, Laufunruhe und Akustik. Der Erfindung kommt die Tatsache entgegen, dass in modernen Motorsteuerungen alle relevanten Informationen und Betriebsgrößen, beispielsweise Temperaturen und Stoffmassen beziehungsweise Mengen, bereits vorliegen, die zur Kontrolle des HCCI-Verbrennungsprozesses mittels Abgastemperaturregelung nötig sind. Die Erfindung kann auch wirksam eingesetzt werden, um veränderten Umgebungs- oder Betriebsbedingungen verbrennungsmotorisch zu begegnen, wie es zum Beispiel beim Motorwarmlauf oder im Sommer-/Winterbetrieb bei stark unterschiedlichen Umgebungstemperaturen der Fall ist.
- Die Erfindung wird nun mit Bezug auf die begleitenden Zeichnungen anhand bevorzugter Ausführungsformen beispielhaft erläutert.
- Es zeigen:
- Figur 1 ein Temperatur-Entropie-Diagramm zur Erläuterung thermodynamischer Grundlagen einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Figur 2 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems;
- Figur 3 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems; und
- Figur 4 ein Funktionsblockdiagramm zur Erläuterung der Ansauggasttemperaturregelung im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens.
- Figur 1 zeigt ein Temperatur-Entropie-Diagramm zur Erläuterung thermodynamischer Grundlagen einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. In dem Diagramm sind

- die Temperatur-Entropie-Verläufe in einem Gas für zwei verschiedene Drücke p_1 und p_2 dargestellt. Wird ein Gas ausgehend vom Druck p_1 und der Temperatur T_1 auf den Druck p_2 verdichtet, so verläuft dieser Vorgang nicht entlang einer
- 5 Isentropen (Vorgang 1-2s), sondern unter Entropiezunahme (Vorgang 1-2). Findet nach der Verdichtung eine Expansion, das heißt eine Druckabnahme statt, so wird auch dieser Vorgang nicht entlang einer Isentropen erfolgen (Vorgang 2-3s), sondern ebenfalls unter Zunahme der Entropie (Vorgang 2-3).
- 10 Die hier dargestellten Vorgänge einer Druckerhöhung von p_1 auf p_2 und der nachfolgenden Expansion auf das Ausgangsniveau p_1 stellen einen Sonderfall dar. Eine Expansion auf ein beliebiges anderes Druckniveau erfolgt ebenfalls unter Zunahme der Entropie. Letztlich hat das Gas nach Verdichtung von p_1
- 15 auf p_2 und Expansion von p_2 auf p_1 ein höheres Temperaturniveau als vor der Verdichtung; die Temperatur ist von T_1 auf T_3 gestiegen. Die gewünschte Temperaturänderung kann beim Verbrennungsmotor somit über den Verdichtungsgrad und die anschließende Expansion, beispielsweise an der Drosselklappe,
- 20 eingestellt werden.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Systems. Es ist ein Verbrennungsmotor 10 mit Abgasrückführeinrichtung 14 und Abgasturbolader 16 dargestellt. In der Frischluftzufuhr des Verbrennungsmotors 10 ist eine Drosselklappe 18 angeordnet. Der Abgasstrang des Verbrennungsmotors 10 ist mit einem Abgaskühler 32 ausgestattet. Auf die besonderen Merkmale des Abgaskühlers 32 wird im Rahmen der vorliegenden Darstellung gemäß Figur 2 nicht eingegangen. In der Abgasrückführung 14 ist ein Abgasrückführventil 36 vorgesehen. Weiterhin umfasst das System an verschiedenen Stellen Messeinrichtungen beziehungsweise Sensoren 20, 22, 24, 26, 28, 30, deren Ausgangssignale einer Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 zugeführt werden können. Im Einzelnen sind vorgesehen: eine Luftmassenmesseinrichtung 28, ein Temperatursensor 20, der in Strömungsrichtung der Frischluft stromab der Drosselklappe 18 zur

- Erfassung der Frischlufttemperatur angeordnet ist, ein Temperatursensor 22 zur Erfassung der Temperatur des Ansauggases vor Einströmen in den Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10, ein Abgastemperatursensor 24 sowie ein Temperatursensor 26
- 5 zur Erfassung der Temperatur am Luft/Abgas-Mischpunkt. Diese Sensoren müssen nicht zwingend vorhanden sein, um die vorliegende Erfindung zu realisieren. Beispielsweise kann der Temperatursensor 26 fortgelassen werden, wenn die Ansauggastemperatur gemäß den im Zusammenhang mit Figur 3 erläuterten Berechnungen ermittelt wird. Ausgangssignale dieser Messeinrichtungen und Sensoren 20, 22, 24, 26, 28 können der Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 zugeführt werden, die wiederum Komponenten des Systems ansteuern kann, wie zum Beispiel das Abgasrückführventil 36, den Abgaskühler 32, die Drosselklappe
- 10 18 und den Abgasturbolader 16. Diese Komponenten können somit in ihrer Funktion beeinflusst werden und letztlich zur Bereitstellung des gewünschten Energieniveaus im Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10 beitragen.
- 15 20 Das in Figur 2 dargestellte System arbeitet wie folgt. Frischluft wird angesaugt und vom Abgasturbolader 16, der vom Abgasstrom angetrieben wird, verdichtet. Diese verdichtete Luft muss die Drosselklappe 18 passieren, so dass es zu einer Expansion kommt. Aufgrund der im Zusammenhang mit Figur 1
- 25 25 dargestellten thermodynamischen Prinzipien hat die Luft hinter der Drosselklappe 18 eine höhere Temperatur als die ursprünglich angesaugte Frischluft. Die Luft gelangt in den Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10. Nach der Verbrennung wird Abgas ausgestoßen, das in einem Abgaskühler 32 gekühlt
- 30 30 wird. Das gekühlte Abgas wird teilweise über den Abgasstrang emittiert. Teilweise wird das gekühlte Abgas 32 über die Abgasrückführung 14 und insbesondere das Abgasrückführventil 36 zur Eingangsseite des Verbrennungsmotors 10 zurückgeführt. Aufgrund der von den Messeinrichtungen und Sensoren 20, 22,
- 35 35 24, 26, 28 erfassten Signale kann die Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 das System so beeinflussen, dass letztlich ein für den HCCI-Betrieb geeignetes Energieniveau im Brennraum 12 des

Verbrennungsmotors 10 vorliegt. Ein wesentlicher Teil der Ansauggasttemperaturregelung wird im Zusammenhang mit Figur 4 beschrieben.

- 5 Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems, wobei hier speziell auf die besonders bevorzugte Ausführungsform mit Abgaskühlung eingegangen wird. Es ist ein Verbrennungsmotor 10 mit einer äußeren Abgasrückführeinrichtung 14 dargestellt. Die Abgasrückführeinrichtung 14 umfasst 10 ein Abgasrückführventil 36, über das die Abgasrückführrate einstellbar ist. Die Abgasrückführeinrichtung 14 umfasst weiterhin einen als Abgaskühler wirkenden Wärmetauscher 32. Der Abgaswärmetauscher 32 wird weiterhin über ein Kühlmittelsystem 46 von einem Kühlmittel durchströmt. Zur Kühlung 15 des Kühlmittels ist ein Kühler 48 vorgesehen. Im vorliegenden Beispiel ist der Abgaswärmetauscherkreis als Parallelkreis ausgelegt. Es sind jedoch auch zahlreiche andere Varianten zur Abgaskühlung denkbar, wobei insbesondere der Kühler 48 als separater Kühler ausgelegt sein kann; ebenfalls ist es 20 denkbar, den Kühler der Motorkühlung mitzubenutzen. Die Kühlung kann auch durch Motor- oder Getriebeöl erfolgen.

Das Kühlmittelsystem 46 umfasst weiterhin ein Kühlmittelstellventil 50, über das die Kühlmittelmenge, die durch den 25 Abgaskühler 32 strömt, einstellbar ist.

Das dargestellte System arbeitet wie folgt. Aus dem Verbrennungsmotor 10 austretendes Abgas wird teilweise über die Abgasrückführeinrichtung 14 zur Einlassseite des Verbrennungsmotors 10 zurückgeführt. Dabei lässt sich der Abgasmassenstrom \dot{m}_{AG} mittels des Abgasrückführventils 36 einstellen. Am Eingang des Abgaskühlers 32 hat das Abgas eine Temperatur $T_{AG,EIN}$, und am Ausgang des Abgaskühlers 32 hat das Abgas eine Temperatur $T_{AG,AUS}$, die im Allgemeinen kleiner sein wird als 35 die Temperatur am Eingang. Die Kühlwirkung des Abgaskühlers 32 kann dadurch eingestellt werden, dass über das Kühlmittelstellventil 50 der Kühlmittelmassenstrom \dot{m}_{KM} eingestellt

wird. Das Kühlmittel hat am Eingang des Abgaskühlers 32 die Temperatur $T_{KM,EIN}$ und am Ausgang des Abgaskühlers 32 die Temperatur $T_{KM,AUS}$, wobei letztere im Allgemeinen höher sein wird als die Temperatur am Eingang. Eine Abkühlung des Kühlmittels 5 erfolgt dann im Kühler 48. Über die Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler 32 durch das Kühlmittelstellventil 50 kann somit unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggasttemperatur des in den Verbrennungsmotor 10 ein-10 strömenden Abgases eingestellt beziehungsweise geregelt werden.

Die Abgastemperatur $T_{AG,AUS}$ am Ausgang des Abgaskühlers 32 kann dabei beispielsweise unter Verwendung des folgenden Gleichungssystems berechnet werden:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{WT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

20

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

25 wobei

\dot{Q} : Wärmestrom

KM : Kühlmittel

AG : Abgas

30 WT : Wärmetauscher

C_p : Wärmekapazität

k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers

A : Heizfläche des Wärmetauschers

ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

35

Die Temperatur des Ansauggases, nachfolgend als T_{ASG} bezeichnet, kann dann gemäß der folgenden Gleichung ermittelt werden:

5

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

berechnet wird, wobei

- \dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
- 10 \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
- T_{FG} : Frischgastemperatur
- T_{AG} : Abgastemperatur
- T_{ASG} : Ansauggastemperatur
- $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
- 15 $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

Figur 4 zeigt ein Funktionsblockdiagramm zur Erläuterung der Ansauggastemperaturregelung im Rahmen eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Die dargestellten Funktionseinheiten können Bestandteile der in Figur 1 dargestellten Steuer-/Regel-/Recheneinheit 34 sein. Es ist eine Einrichtung 38 zur Berechnung der Abgassolltemperatur vorgesehen. Diese ist mit einer Einrichtung 40 zur Berechnung des Kühlmitteldurchflusses durch den in Figur 1 dargestellten Abgaskühler 32 verbunden. Die Einrichtung 40 zur Berechnung des Kühlmitteldurchflusses steht wiederum über eine Regelstrecke 42 mit einem Regler 44 in Verbindung. Weiterhin sind in Figur 2 Signale dargestellt, wobei Signale, die die Endung AV aufweisen, aktuelle Werte kennzeichnen, während Signale, die die Endung SP aufweisen, Sollwerte kennzeichnen.

Die Ansauggastemperaturregelung gemäß Figur 4 arbeitet wie folgt. Entsprechend den Motorbetriebsbedingungen wird ein Sollwert für die Temperatur der Ansaugluft im Saugrohr 35 (TIA_IM_SP) vorgegeben. Dieser wird zusammen mit der aktuellen Frischgastemperatur (TIA_AV) und den Massen des zugeführten Frischgases (MAF_KGH_AV) sowie des zurückgeführten Abga-

ses (M_{EGR_AV}) der Einrichtung 38 zur Berechnung der Abgas-
solltemperatur zugeführt. Diese berechnet unter Berücksichti-
gung der spezifischen Wärmekapazitäten der zugeführten
Frischluft (c_p, Luft) und des Abgases (c_p, Abgas) die Abgastempe-
ratur am Mischpunkt ($T_{EGR_DOWN_SP}$), die erforderlich ist, um
5 die gewünschte Gastemperatur im Saugrohr zu erhalten. In der
Einrichtung 40 zur Berechnung des Kühlmitteldurchflusses wird
der von der Einrichtung 38 zur Berechnung der Abgassolltempe-
ratur ermittelte Sollwert ($T_{EGR_DOWN_SP}$) mit der tatsächli-
10 chen Abgastemperatur am Motoraustritt ($T_{EGR_UP_AV}$) vor dem
Abgaskühler verglichen. Aus der Differenz wird ein Kühlmit-
teldurchfluss (M_{COOL}) durch den Abgaskühler bestimmt, der
erforderlich ist, um die gewünschte Abgastemperatur am Misch-
punkt ($T_{EGR_DOWN_SP}$) zu erhalten. Dieser Kühlmittelfluss
15 wird dann durch eine entsprechende Ansteuerung einer elektri-
schen Kühlmittelpumpe realisiert, wobei ebenso gut andere Ar-
ten der Durchflussregelung möglich sind. Der Kühlmitteldurch-
fluss wird entsprechend der vorliegenden Regelung über die
Regelstrecke 42 in eine bestimmte Gastemperatur im Saugrohr
20 (TIA_IM_AV) umgesetzt, wobei diese nach einer gewissen Ein-
schwingphase vorliegen wird. Diese Gastemperatur im Saugrohr
(TIA_IM_AV) wird mit dem Sollwert (TIA_IM_SP) im Regler 44
verglichen. Weichen die Werte voneinander ab, so wird der
Kühlmitteldurchfluss durch den Abgaskühler um einen Wert
25 (ΔM_{COOL}) korrigiert, so dass sich letztlich über eine ge-
eignete Abgastemperatur am Mischpunkt ($T_{EGR_DOWN_AV}$) die ge-
wünschte Ansauglufttemperatur gemäß dem Sollwert (TIA_IM_SP)
einstellt.

30 Um die im Zusammenhang mit Figur 4 erläuterte Regelung mit
dem in Figur 2 dargestellten System besser in Beziehung set-
zen zu können, wird nachfolgend im Einzelnen angegeben, wo
die für die Regelung verwendeten Werte gemessen beziehungs-
weise eingestellt werden sollen. Die Luftmassenmesseinrich-
35 tung 28 ermittelt den Wert MAF_KGH_AV . Der zurückgeführte Ab-
gasanteil M_{EGR_AV} ist im Rahmen der Abgasrückführung durch
entsprechende Ansteuerung des Abgasrückführventils 36 be-

kannt. Die Frischgastemperatur TIA_AV wird durch den Temperatursensor 20 hinter der Drosselklappe 18 gemessen. Die Ansauggastemperatur TIA_IM_AV wird durch den Temperatursensor 22 vor dem Eintritt in den Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10 erfasst. Der Temperatursensor 24 am Austritt aus dem Brennraum 12 des Verbrennungsmotors 10 erfasst die Abgastemperatur T_EGR_UP_AV. Zusätzlich kann die Temperatur TIA_EGR_DOWN_AV am Mischpunkt durch den Temperatursensor 26 erfasst werden, wobei dieser allerdings für die im Zusammenhang mit Figur 4 beschriebene Regelung nicht unbedingt erforderlich ist.

Die Erfindung lässt sich wie folgt zusammenfassen: Bei einem HCCI-fähigen Verbrennungsmotor, der vorzugsweise mit einer Abgasrückführeinrichtung 14 ausgestattet ist, werden ein System und ein Verfahren vorgeschlagen, auf deren Grundlage eine verbesserte Einstellung des Temperaturniveaus im Brennraum erfolgen kann. Neben der Temperatureinstellung über die Abgasrückführeinrichtung 14 erfolgt eine davon unabhängige Beeinflussung der Temperatur aufgrund der Verdichtung der angesaugten Frischluft durch den Abgasturbolader 16, wobei auch nach Expansion der verdichteten Luft an einer Drosselklappe 18 eine Temperaturerhöhung erhalten bleibt, die letztlich gezielt zur Beeinflussung des Energieinhalts im Brennraum 12 genutzt werden kann.

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung wesentlich sein.

Patentansprüche

1. System zum Beeinflussen der Ansauggastemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) eines Verbrennungsmotors (10), insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors (10), mit

- einer Verdichtungseinrichtung (16) zum Verdichten von angesaugter Frischluft, die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, sowie
- Expansionsmitteln (18), die eine Expansion der verdichten angesaugten Frischluft bewirken,
- wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist,

d a d u r c h . g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur
Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) gezielt eingesetzt wird.

2. System nach Anspruch 1,
d a d u r c h . g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine Abgasrückführeinrichtung zum Zuführen von Abgas eines früheren Verbrennungszyklus zu Frischluft beziehungsweise zu einem Frischluft aufweisenden Gemisch vorgesehen ist, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen.

3. System nach Anspruch 1 oder 2,
d a d u r c h . g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verdichtungseinrichtung ein Abgasturbolader (16) ist.

4. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Verdichtungseinrichtung ein Kompressor ist.

5. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Expansion an einer Drosselklappe (18) erfolgt.

6. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
10 dass ein Temperatursensor (20) zum Erfassen der Temperatur T_2 in Strömungsrichtung des Frischgases stromab den Expansionsmitteln angeordnet ist, so dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggasttemperatur berücksichtigt werden kann.

15 7. System nach einem der Ansprüche 2 bis 6,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

- dass mindestens ein als Abgaskühler (32) wirkender Wärmetauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeföhrten
20 Abgases vorgesehen ist, und

- dass eine Kühlmittelstellventil (50) vorgesehen ist, so dass durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch den Abgaskühler (32) unter Berücksichtigung von Messwerten
25 beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggasttemperatur eingestellt beziehungsweise geregelt werden kann.

8. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Abgaskühler (32) in einem separaten Wärmetauscherkreis (46) angeordnet ist.

9. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Abgaskühler in einem Motorkühlmittelkreis angeordnet ist.

10. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Abgaskühler als Motor- beziehungsweise Getriebeöl-
wärmetauscher ausgelegt ist.
5

11. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermit-
10 telten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet
sind:

- Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- 15 - Frischgastemperatur,
- Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggastemperatur,
- Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,
- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des
- 20 durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungs-
weise Öls und
- Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise
Kühlmittelpreis beziehungsweise Ölmenge des durch den Ab-
gaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.

25

12. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Temperatursensor (20) zum Erfassen der Frischgastem-
peratur, ein Temperatursensor (24) zum Erfassen der Abgastem-
30 peratur am Motoraustritt, eine Luftmassen- beziehungsweise -
mengenmesseinrichtung (28) zum Erfassen der Frischgasmasse
beziehungsweise -menge und eine Abgasmassen- beziehungsweise
-mengenmesseinrichtung (28) zum Erfassen der Abgasmasse be-
ziehungsweise -menge vorgesehen sind.

35

13. System nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

5 berechnet wird, wobei

- \dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
 - \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
 - T_{FG} : Frischgastemperatur
 - 10 T_{AG} : Abgastemperatur
 - T_{ASG} : Ansauggastemperatur
 - $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
 - $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.
- 15 14. System nach einem der vorangehenden Ansprüche, durch gekennzeichnet, dass die Abgastemperatur am Wärmetauscherausgang unter Verwendung des folgenden Gleichungssystems berechnet wird:

20 $|\Delta\dot{Q}_{KM}| = |\Delta\dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{WT}$

$$\Delta\dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta\dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

25

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

wobei

- 30 \dot{Q} : Wärmestrom
- KM : Kühlmittel
- AG : Abgas
- WT : Wärmetauscher
- C_p : Wärmekapazität
- 35 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
- A : Heizfläche des Wärmetauschers
- ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

15. Verfahren zum Beeinflussen der Ansauggasttemperatur und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) eines Verbrennungsmotors (10), insbesondere eines HCCI-fähigen Verbrennungsmotors (10), bei dem

- 10 - angesaugte Frischluft, die vor der Verdichtung eine Temperatur T_1 aufweist, verdichtet wird und
- 15 - die verdichtete angesaugte Frischluft expandiert wird,
- 20 - wobei die verdichtete und nachfolgend expandierte Frischluft eine Temperatur $T_2 > T_1$ aufweist,
- 25 dadurch gekennzeichnet, dass die Temperaturerhöhung der Frischluft von T_1 auf T_2 zur Beeinflussung des Temperaturniveaus und damit des Energieniveaus im Brennraum (12) gezielt eingesetzt wird.

30 16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass Abgas eines früheren Verbrennungszyklus Frischluft beziehungsweise einem Frischluft aufweisenden Gemisch zugeführt wird, um nach Einspritzung von Kraftstoff ein Luft/Kraftstoff/Abgas-Gemisch mit einem für die Verbrennung vorteilhaften Energieniveau bereitzustellen.

35 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdichtung durch einen Abgasturbolader (16) erfolgt.

40 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Verdichtung durch einen Kompressor erfolgt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18,
durch gekennzeichnet,
dass die Expansion an einer Drosselklappe (18) erfolgt.

5 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19,
durch gekennzeichnet,
dass die Temperatur T_2 nach der Expansion erfasst wird, so
dass diese im Rahmen einer Regelung der Ansauggasttemperatur
berücksichtigt werden kann.

10

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 20,
durch gekennzeichnet,

- dass Abgas in einem als Abgaskühler (32) wirkenden Wärmetauscher zur Absenkung der Temperatur des zurückgeföhrten
15 Abgases gekühlt wird, und
- dass durch Beeinflussung des Kühlmitteldurchflusses durch
den Abgaskühler (32) mittels eines Kühlmittelstellventils
20 (50) unter Berücksichtigung von Messwerten beziehungsweise modelltechnisch ermittelten Werten die Ansauggasttemperatur eingestellt beziehungsweise geregelt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21,
25 durch gekennzeichnet,
dass die Messwerte beziehungsweise die modelltechnisch ermittelten Werte mindestens einer der folgenden Größen zugeordnet sind:

- 30 - Abgastemperatur,
- zurückgeführte Abgasmasse beziehungsweise -menge,
- Frischgastemperatur,
- Frischgasmasse beziehungsweise -menge,
- Ansauggasttemperatur,
- 35 - Ansauggasmasse beziehungsweise -menge,

- Kühlmitteltemperatur beziehungsweise Öltemperatur des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls und
 - Kühlmittelmasse beziehungsweise Ölmasse beziehungsweise Kühlmittelmenge beziehungsweise Ölmenge des durch den Abgaskühler strömenden Kühlmittels beziehungsweise Öls.
- 5

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22,
 dadurch gekennzeichnet,
 10 dass die Frischgastemperatur, die Abgastemperatur am Motoraustritt, die Frischgasmasse beziehungsweise -menge und die Abgasmasse beziehungsweise -menge gemessen werden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23,
 15 dadurch gekennzeichnet,
 dass die Ansauggastemperatur gemäß der Gleichung

$$T_{ASG} = \dot{m}_{FG} C_{p,FG} + \dot{m}_{AG} C_{p,AG}$$

20 berechnet wird, wobei

\dot{m}_{FG} : Frischgasmassenstrom
 \dot{m}_{AG} : Abgasmassenstrom
 T_{FG} : Frischgastemperatur
 25 T_{AG} : Abgastemperatur
 T_{ASG} : Ansauggastemperatur
 $C_{p,FG}$: Wärmekapazität des Frischgases
 $C_{p,AG}$: Wärmekapazität des Abgases.

30 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 24,
 dadurch gekennzeichnet,
 dass die Abgastemperatur am Wärmtauscherausgang unter Verwendung des folgenden Gleichungssystems berechnet wird:

$$|\Delta \dot{Q}_{KM}| = |\Delta \dot{Q}_{AG}| = \dot{Q}_{NT}$$

$$\Delta \dot{Q}_{KM} = \dot{m}_{KM} C_{p,KM} (T_{KM,AUS} - T_{KM,EIN})$$

$$\Delta \dot{Q}_{AG} = \dot{m}_{AG} C_{p,AG} (T_{AG,EIN} - T_{AG,AUS})$$

$$\dot{Q}_{WT} = kA\Delta T_m$$

5

wobei

- \dot{Q} : Wärmestrom
 KM : Kühlmittel
 10 AG : Abgas
 WT : Wärmetauscher
 C_p : Wärmekapazität
 k : Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmetauschers
 A : Heizfläche des Wärmetauschers
 15 ΔT_m : mittlere logarithmische Temperaturdifferenz.

1/3

FIG 1

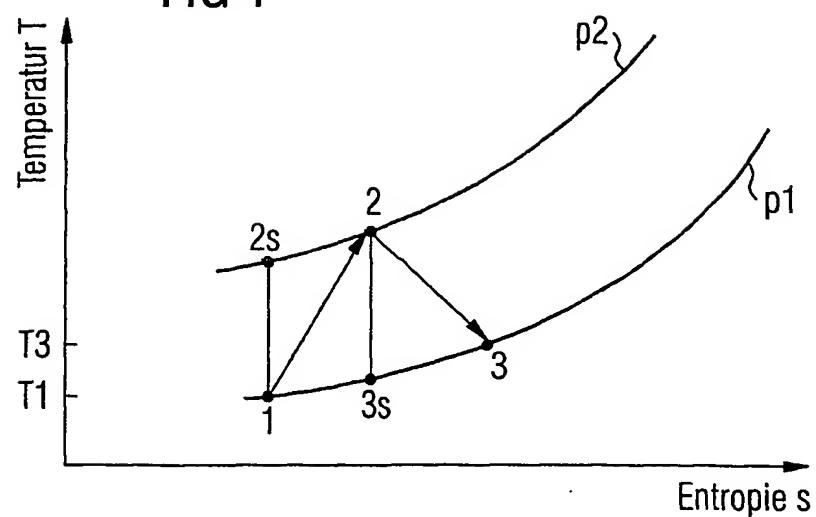
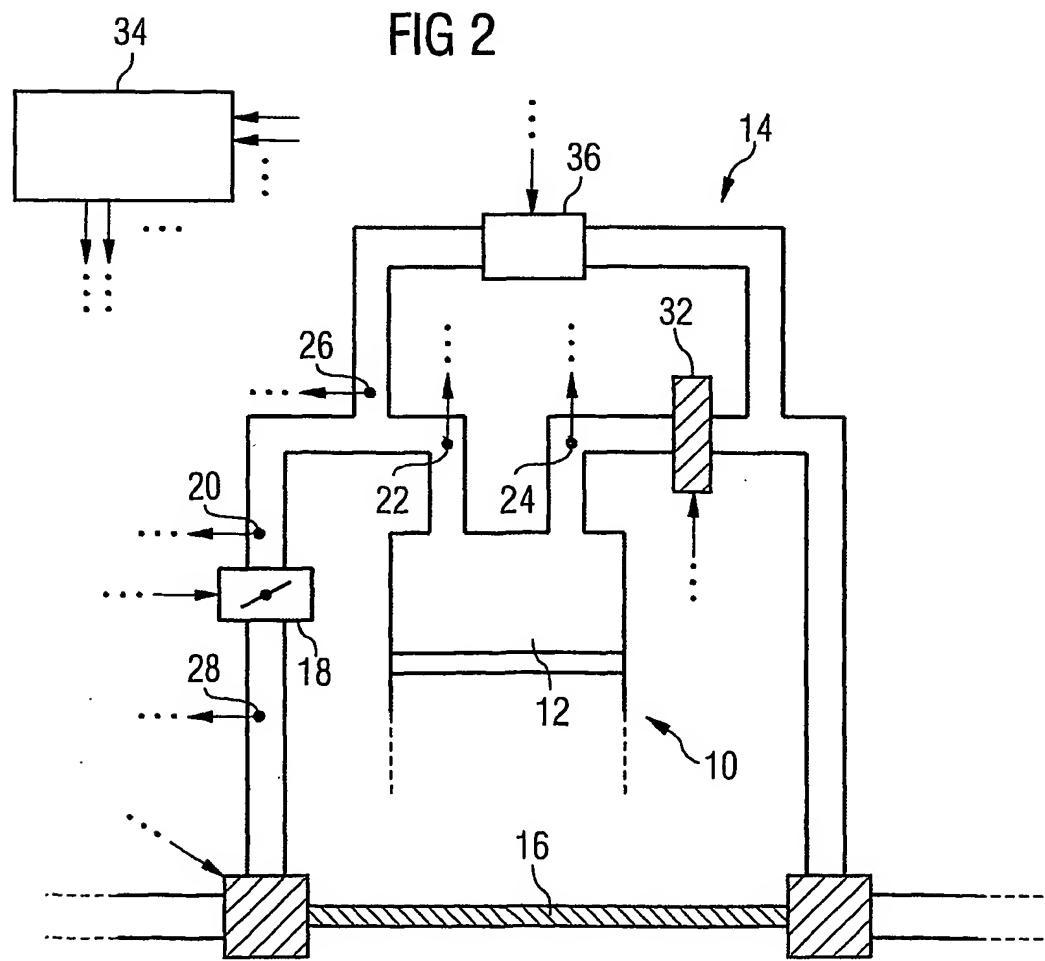
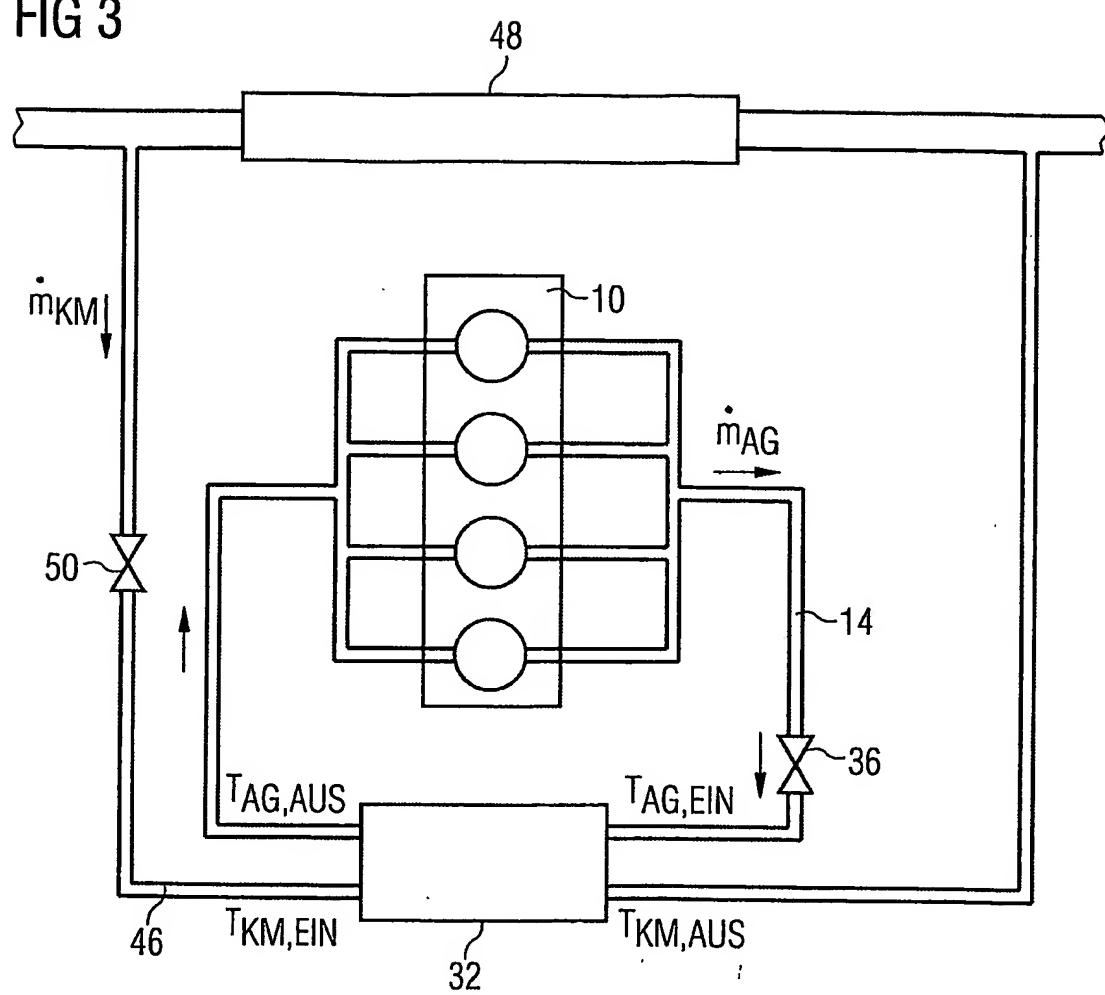


FIG 2



2/3

FIG 3



3/3

